

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS AERONÁUTICOS**



ACTO ACADÉMICO DE FIN DE CURSO

Lección Magistral pronunciada por el
PROFESOR JUAN RAMÓN SANMARTÍN LOSADA

9 de Diciembre de 2000
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ACTO ACADÉMICO DE FIN DE CURSO

Lección Magistral pronunciada por el
PROFESOR JUAN RAMÓN SANMARTÍN LOSADA

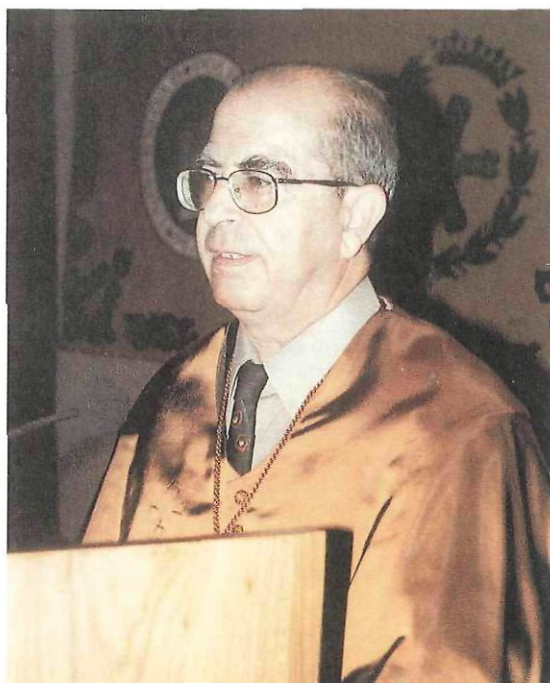
*El Director de la E.T.S.I. Aeronáuticos,
Profesor José L. Montañés García,
formando parte del Discurso que pronunció
durante el Acto Académico,
bizo la presentación del Profesor Sanmartín Losada,
en los siguientes términos*

Nos cabe el honor de que el profesor Sanmartín, que nos acompaña en esta mesa, sea la persona que imparta la lección magistral este año. Hace pocos meses, en mi primera intervención como Director de esta Escuela, durante el acto de mi toma de posesión, mencioné a una serie de personas, que marcaron mi devenir profesional y a las que estoy profundamente agradecido. Distinguir de entre ellas a una es, quizás, arriesgado ya que supone seguir seleccionando, dando demasiada información sobre uno mismo, con los peligros que ello pudiera acarrear. No obstante, los que me conocen bien entienden que yo pueda singularizar, aún más, mis agradecimientos a Juan Ramón Sanmartín Losada. Él fue mi director de tesis doctoral, pero sólo esta circunstancia no tendría que ser suficiente como para profesarle tal devoción; además, es mi amigo. Su personalidad atrajo, primero mi respeto, después mi admiración y por último mi cariño. Se que esta debería ser una intervención para hablar, protocolariamente, de la personalidad del Profesor Sanmartín, pero, también los que me conocen saben, que no puedo hablar de Juan Ramón Sanmartín, solamente de forma impersonal, por lo mucho que le debemos, yo y un abultado número de profesores de esta Escuela ya que, junto con Amable Liñán, es el profesor que más tesis doctorales ha dirigido en este Centro desde su llegada al mismo, y todos los que hemos sido sus doctorandos somos en la actualidad profesores de universidad.

Aún cuando el curriculum profesional del Profesor Sanmartín es espectacular, como se puede comprobar en la siguiente hoja, no es, para los que le conocemos, lo más importante de su personalidad. Junto a la persona que desarrolla esta actividad, se encuentra un hombre amante de las ideas y del pensamiento, un hombre con el que no es fácil desarrollar una conversación de igual a igual, pues pronto asoma el abismo intelectual que te separa de él y comienza uno a aprender y él a enseñar. Estoy seguro que todo esto lo podremos constatar cuando escuchemos su lección. Esta Escuela esta orgullosa de contar en su Claustro de profesores con un «Maestro» de la talla de Juan Ramón Sanmartín y nuestros alumnos deben felicitarse por haber disfrutado sus enseñanzas. En nombre de todos gracias.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AERONÁUTICOS

ACTO ACADÉMICO
1999/2000



Madrid, 9 de Diciembre de 2000

BREVE «CURRICULUM»
DEL PROFESOR SANMARTÍN LOSADA

Ingeniero Aeronáutico (1965) y Dr. Ingeniero Aeronáutico (1972) por la Universidad Politécnica de Madrid.

Licenciado en Ciencias Físicas (1965) por la Universidad Complutense de Madrid.

Ph.D en «Aerospace Engineering Sciences» (1967) por la Universidad de Colorado.

Catedrático de Física de la ETSI Aeronáuticos desde 1974. Con anterioridad realizó investigación en la Universidad de Princeton (1967-1969), el Instituto Tecnológico de Massachusetts (1969-1971) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (1971-1974), y enseñó en la ETSI Aeronáuticos de 1971 a 1974.

Su actividad investigadora se ha desarrollado predominantemente en aplicaciones de Física de Plasmas que involucran Electromagnetismo y Mecánica de Fluidos o Teoría Cinética. Ha estudiado la interacción de un láser y un plasma muy caliente, en sus aspectos fluidodinámicos y electromagnéticos, de interés en la Fusión Termonuclear por Confinamiento Inercial; y la interacción de plasmas y conductores, de interés en el diagnóstico de plasmas espaciales y de laboratorio, y en la tecnología emergente de las «amarras» espaciales. Ha trabajado ocasionalmente en problemas de caos disipativo, y en el análisis de fenómenos físicos simples o de interés pedagógico.

Ha sido profesor visitante en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1988 y 1993, e investigador visitante en la Universidad de Colorado en 1971 y 1990, y en el Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica desde 1995.

Fue Premio Nacional Fin de Carrera, Premio González Baylin de la Cámara de Industria de Madrid, y Premio Francisco Arranz de la Asociación de Ingenieros Aeronáuticos. Ha recibido también Premios (de investigación) de la Fundación Politécnica de Madrid y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. En 1997 fue elegido miembro de número de la Academia de Ingeniería.

REVOLUCIÓN EDUCATIVA, INVESTIGACIÓN ESTRATÉGICA

*Excelentísimo y Magnífico Sr. Rector,
Ilustrísimo Sr. Director,
Señoras y Señores:*

Voy a hablarles sobre la Universidad, y los estudios de Ingeniería; sobre su duración, contenidos y enfoques de la enseñanza, y exámenes; sobre los profesores y sus tareas de investigación; cuestiones sobre las cuales la sociedad y las autoridades educativas nos apremian. En torno a nuestro mundo académico de leyes naturales y algoritmos técnicos bullen periodistas, políticos, expertos en enseñanza, consultores de empresa, miembros de comités *ad hoc*, que quieren planificarnos el trabajo, y nos alientan en una jerga poética: Sociedad de la Información, Investigación Estratégica, Revolución Educativa, Dinamización Tecnológica, Innovación,... Les adelanto mi escepticismo y mi prevención. Richard Feynman, uno de los grandes científicos del siglo, recordaba que hubo filósofos que pretendían explicarnos *Relatividad*.

Soy igualmente escéptico sobre la pretensión inversa, la utilidad de las ciencias naturales y la ingeniería, y nuestra capacitación como expertos, para comprender y decidir en materia social. Isidor Rabi, Nobel en el 44, fue ejemplo, noble, de esa pretensión; Rabi combatió la irracionalidad —¡persistente!— de cierta contracultura de los años 60, inspiró a Snow su obra sobre el distanciamiento de Ciencias y Humanidades,

y aleguó que la ciencia ayudaría a pensar objetiva, racional y productivamente al servicio de la sociedad.¹ Feynman, por el contrario, afirmó que un científico como él, opinando sobre cuestiones sociales, sonaría tan *naïf* como cualquier hijo de vecino.² Su afirmación misma es buen ejemplo de lo afirmado y mi charla no pretende ser contraejemplo, harán bien en olvidarla en cuanto haya concluido. La opinión de Feynman, que comparto, se resume en un símil: es útil tener buena vista al mirar en pozos poco profundos –caso de las ciencias naturales y sus aplicaciones–, pero nadie ve nada en pozos muy profundos –caso de los temas sociales–

¿Cuál debe ser la duración, formal, de nuestra carrera? No sabría decirlo. Este es un ejemplo de la complejidad que encierran parámetros sociales aparentemente triviales. La duración de los estudios de ingeniería varía de un país a otro. *Grosso modo* diría que en Gran Bretaña abarcan tres cursos, en Estados Unidos cuatro, en Francia cinco, en Alemania –de cuatro y medio a cinco y medio. Se supone que las autoridades educativas toman sus decisiones buscando alguna optimización. Quizá una magnitud de interés social sea función del número de cursos y alcance un *máximo* para cierto valor de ese número, pero es difícil imaginar una ley matemática que origine duración tan diversa. La diversidad sugiere que en la determinación del máximo entran parámetros incontables, legado de la noche de los tiempos, o que el máximo es poco acusado. La cuestión de la duración podría ser poco relevante.

Desconcierta, por tanto, encontrar igual diversidad en la duración de los estudios sin salir de nuestro país, basta ir al pasado. En este año 2000, nuestra carrera, que se inicia a los 18 años, dura cinco cursos. En 1990 duraba seis. En el 80 también duraba seis cursos pero se había empezado a los 17 años. En el 70 el número de cursos era otra vez cinco, en el 60 siete, y en 1950 de nuevo cinco. No me pregunten por el año 2010. Todo esto me recuerda las ocho Constituciones de nuestro siglo XIX y me parece un discrepar por discrepar. Permítanme una di-

gresión, de entretenimiento como en las novelas antiguas, sobre una discrepancia reveladora; James Joyce diría que es una epifanía:

En muchos libros el título figura en el lomo a lo largo. En *todos* los libros de Estados Unidos o Gran Bretaña, de pie en un estante, el lomo se lee de arriba abajo. Se lee del modo opuesto, de abajo arriba, en *todos* los libros franceses. ¿Qué modo es el español? Los libros de Planeta, Juventud, Espasa tienen lomo francés; los de Bruguera, Labor, Ariel, inglés. Cátedra sigue el modo inglés para su colección de Arte, y el francés para Letras Hispánicas; Alianza Forma y Libro de bolsillo siguen el modo inglés, pero Alianza Universidad y Universidad Texto el francés; hay libros de Plaza y Janés con sobrecubierta de lomo francés, y lomo interior inglés...

¿Qué enseñar? Se dice que la moderna tecnología de comunicaciones, con su capacidad para difundir y contrastar información, acabará con la presente variedad en la exposición de materias, en un proceso darwiniano. En lo que debiera conocer, textos de Física General, no lo creo. Me parece que no habrá nunca un texto óptimo de Física General. En el inmenso mercado norteamericano los autores de esos textos no son físicos de primera fila; hay margen para la mejora, aunque siempre incierta. Cuando los han escrito físicos excepcionales (las Lecciones de Feynman, los volúmenes de la Serie Berkeley) han resultado *extraordinarios excepto como textos*.

Sobre el contenido global de la enseñanza en Ingeniería sí hay un enfoque novísimo, racional,... que me parece peligroso. Hay ejemplos de ese enfoque dentro y fuera de España. El enfoque, según creo, se basa en un hecho nuevo: el moderno ordenador, que permite resolver de modo práctico las Ecuaciones de la Física y sus aplicaciones, nos ha recordado su puro carácter de algoritmos. Previamente las leyes físicas aparecían insondables, y su aprendizaje se abordaba tentativa, progresivamente. Pero ya existen módulos de computación comerciales para aplicaciones en Mecánica de Fluidos. El módulo NASCAP, desarrollado

para la NASA, describe la interacción entre el plasma de ionosfera y magnetosfera y la superficie de un satélite. El NASTRAN es sobradamente conocido en esta Escuela. El módulo GEANT simula transporte, interacción y detección de partículas subnucleares, para un centro como el CERN de Ginebra. Hay códigos para simular en su globalidad el complejísimo fenómeno de la fusión termonuclear. Ya se pueden predecir las propiedades de materiales en cálculos *ab initio*, con la sola entrada de números atómicos a un programa sobre la ecuación de Schrödinger.

La consecuencia sería que en nuestra Escuela de ingenieros podríamos, deberíamos reducir el estudio de la Física y la Mecánica de Fluidos, y su base matemática. Habría que estudiar, sobre todo, la manipulación de algoritmos, sin una comprensión dilatada de lo que subyace en ellos. Paradójicamente, se dedicaría más tiempo a aquello para lo que no hay algoritmos: dominio de lo que llaman «multimedia», una cierta multidisciplinariedad superficial, comunicación oral y escrita, como trabajar en equipo. No un saber profundo, sino variado. El saber técnico habría muerto de éxito. Para ser justo he de añadir que no se pretende extender el nuevo enfoque a los estudios de tercer ciclo. Aun así creo peligroso el enfoque.

En primer lugar, en los casos sobre los que algo conozco la simulación todavía parece pobre. Por otra parte, existe una asimetría fundamental que debe reflejarse en la enseñanza: las leyes técnicas de la Ciencia, resultado de un esfuerzo creativo de cuatro siglos, precedieron y dieron lugar a los ordenadores que ahora las manipulan como algoritmos, si desapareciesen los ordenadores las leyes técnicas permitirían su fácil regeneración, pero un hipotético y total olvido de esas leyes haría inútiles a los ordenadores. Finalmente, el nuevo enfoque cierra el camino a las sorpresas pedagógicas. El énfasis en la manipulación de algoritmos, ofreciendo una visión cerrada de la Ciencia, sería un desastre semejante al que, en el pasado, afectó a su enseñanza en España como un saber acabado y ajeno. Sobre sorpresas, recuerdo una anécdota de Sir James Jeans, el primer astrofísico en postular la creación

continua de materia. A comienzos de siglo Jeans fué profesor en la Universidad de Princeton y posteriormente asesoró allí sobre el curriculum de Físicas. Jeans desaconsejó como inútil la enseñanza de Teoría de Grupos. La primera exposición básica de Física cuántica, de Hermann Weyl, publicada en 1928, se llamó *Teoría de Grupos y Mecánica Cuántica*.

¿Cómo enseñar? El aprendizaje más efectivo parece basarse en la imitación. El doctorado es efectivo porque el alumno imita lo que hace el profesor, investiga. La enseñanza primaria, donde prima la formación, sería efectiva porque hay algo que imitar en la figura del maestro. Pero nuestros estudios son instrucción pura y dura, a la que se aplica la máxima de Edward Gibbon, que fué un autodidacta: la instrucción raramente es de gran eficacia, salvo en aquellas felices disposiciones para las que apenas es necesaria. Si ignora esta máxima, el profesor sin experiencia, con autonomía y muy entregado a su tarea, creará muy efectiva su instrucción y será muy exigente en el examen. En Estados Unidos, donde la vida de campus persigue un elemento formativo, el énfasis en la instrucción, en la titulación *Bachelor*, puede ser menor, la instrucción misma se hace a veces por práctica repetida, que es una forma de imitación. Por otra parte, en carreras como la ingeniería la habilitación profesional se obtiene en un proceso ajeno y posterior a la instrucción recibida en la Universidad.

A alumnos con esa feliz disposición a la que alude Gibbon en su máxima, el profesor que es investigador en activo puede motivarles independientemente de la instrucción, Rabi, como Helmholtz, fué pobre instructor pero extraordinario maestro de discípulos. En general, sin embargo, motivar, llegar a todos los alumnos, cuyas psicologías responden a muy diferentes enfoques en la instrucción, sólo parece posible con una atención variada, individual. Esto lleva al sistema tutelar inglés, preservado en pequeñas instituciones de *élite* —un profesor y un reducido círculo de estudiantes—. En Estados Unidos ese sistema, en la medida en que existía, parece haberse degradado, se ha extendido allí

la opinión de que la absorbente dedicación a la investigación y a la búsqueda de financiación han reducido la atención al estudiante.^{3, 4} En el momento actual hay padres que prefieren enviar a sus hijos a pequeñas universidades que carecen de escuela de postgrado, y no a grandes y célebres universidades, donde la enseñanza podría descansar en estudiantes graduados. En cualquier caso, creo se sigue cierta conclusión: Si la sociedad quiere una educación de *élite* generalizada, –que es una contradicción en los términos, ¡el perfecto oxímoron!– la enseñanza habrá de ser intensiva en *mano de obra*; se necesitarán más profesores.

A falta de esa solución, Richard Feynman, que se declaró insatisfecho de sus Lecciones de Física General en el Caltech, sugirió usar en la instrucción todos los enfoques posibles. Y señaló que el viejo método de una inflexible secuencia de metas y obstáculos –*la letra con sangre entra*– puede ser efectivo para muchos alumnos.² Llevado a su extremo, sin embargo, el método conduce a una enseñanza de preparación para exámenes, como en las oposiciones a funcionario en España, o el ingreso a nuestras Escuelas de Ingeniería hace 50 años. Les dejo ahora una cuestión en el aire: Hoy existen academias que prometen éxito a nuestros alumnos; ¿debe un profesor de Universidad enseñar como en una academia, preparando al alumno para sus propios exámenes? Sobre lo estéril del énfasis en una enseñanza para superar exámenes, les recordaré el sistema establecido en el siglo VII, en China, para acceder a su burocracia, que impidió en el XIX la modernización que sí se dio en Japón.

Un niño empezaba a prepararse a los siete años y, dos años sí y uno no, debía superar la prueba de distrito, que duraba cinco días. Luego pasaba la prueba de tres días de la prefectura, y la de aptitud de cuatro días. A mediados del XIX un millón de chinos habían superado ese proceso; les esperaban los verdaderos exámenes. Cada tres años, en un primer nivel, y en cada provincia, se confinaba a cientos de examinadores en enormes recintos con alimentos para un mes. Miles de candidatos llevaban tinta, pinceles, papel certificado, mantas para dor-

mir, alimentos, y orinales, para pasar tres días encerrados en celdas, con tres tablas por asiento, estante, y escritorio. Esta rutina se repetía dos veces. Aprobaba un 1%. Había exámenes de segundo nivel en Pekín; de tercer nivel en el Palacio imperial.⁵

¿Cómo se accedería a la investigación y a la docencia? Lo azaroso del éxito en la carrera académica lo señaló Max Weber en 1919, comparando la figura del profesor novel en el clásico sistema universitario alemán y en el emergente sistema americano.⁶ Los problemas de quien emprende esa carrera me parecen tan variados como las sociedades mismas. En España, por ejemplo, es difícil imaginar el refinamiento de un caso como el de Maria Goeppert-Mayer, que enseñó, investigó, y dirigió tesis doctorales, sin compensación económica, en las Universidades de Chicago y Johns Hopkins. Normas contra el nepotismo bloqueaban su contratación o nombramiento, porque su marido, un especialista en Físicoquímica, era allí profesor. Finalmente, Maria Goeppert-Mayer accedió a una plaza de profesor en la Universidad de California-San Diego en 1960,... tan sólo dos años antes de recibir el Nobel de Física por su modelo de capas del núcleo atómico.

En esa época, con el liderazgo tecnológico del país aparentemente amenazado por el programa espacial soviético, el sistema universitario, en realidad toda la enseñanza en Estados Unidos, estuvo en entredicho. En Actas del Congreso de Washington, que leí hace tiempo en nuestra Biblioteca y no he podido reencontrar, Hyman Rickover, respetado padre del Nautilus, atribuía el supuesto retraso tecnológico de Norteamérica, fundamentalmente, a una deficiente instrucción en ciencia en la enseñanza secundaria. Como ven, éste es un tipo de crítica recurrente.

Sin embargo, en abril de 1966 aparecía una crítica enteramente opuesta en Komosolskaya Pravda. Pyotr Kapitsa, Nobel en el 78, y *responsable* de los primeros satélites soviéticos, afirmaba que el atraso tecnológico correspondía a la Unión Soviética, cuyo problema radicaba en

el alto número «de viejos científicos incompetentes en los centros de investigación del país.» Para mejorar la ciencia y la tecnología, Kapitsa sugería rejuvenecerla transfiriendo a la industria, cada año, cierto número de investigadores, substituyéndolos por jóvenes bien cualificados...⁷ Me parece que la historia posterior ha demostrado que Kapitsa, no Rickover, estaba en lo cierto en cuanto al atraso. Esto sugiere que el éxito de un país en ciencia y tecnología *depende menos de la preparación de los futuros investigadores al entrar en la universidad y más de las condiciones y estructuras que encuentran al dejarla* —y de la educación de tercer ciclo que reciben—. Todo lo cual se corresponde con la máxima de Gibbon sobre «aquellas felices disposiciones para las que la instrucción apenas es necesaria».

Recientemente, Claude Allègre, siendo ministro francés de Ciencia, hizo un análisis próximo al de Kapitsa.⁸ En su opinión no es fácil investigar de por vida a tiempo completo, pero eso pretende la totalidad de los investigadores en los grandes centros públicos de ciencia y tecnología de Francia, en oposición a los de Alemania, Reino Unido, Canadá o Estados Unidos. La consecuencia es un déficit de investigadores jóvenes que, en todo caso, carecen de autonomía para desarrollar proyectos propios; que encuentran resistencia en los directores de laboratorio o instituto —mandarines con poder absoluto—; y que sirven de *mano de obra* a investigadores que ya apenas hacen investigación. En Estados Unidos, salvo en campos específicos como la física de partículas, el investigador, una vez terminada la tesis, puede ser autónomo muy pronto; formula propuestas de proyectos y puede encontrar financiación.⁷ Claude Allègre quería que investigadores con larga experiencia dedicasen parte de su tiempo a actividades en la industria o enseñasen en las universidades. Su trabajo en los centros de origen sería cubierto por jóvenes acogidos como investigadores autónomos.

Déjenme hacer ahora una propuesta. Exigiría, ciertamente, aumentar en grado substancial el presupuesto nacional de Educación e Investigación. Se sabe que en España se dedica muy poco dinero, comparativamente, a la Ciencia y la Tecnología, y que el número de

investigadores instalados en el sistema público es comparativamente muy bajo (la investigación privada es casi inexistente). También se sabe que existe un número considerable de jóvenes bien preparados que no encuentran acomodo en el sistema que ha pagado para prepararlos. Siguiendo a Kapitsa y a Allègre, sugiero que investigadores de Centros públicos con larga y muy útil experiencia dediquen parte de su tiempo a enseñar en las universidades a tiempo parcial o a tiempo completo, permitiendo integrar en sus Centros a esos jóvenes bien cualificados que no han encontrado acomodo en el sistema. La consecuencia debiera ser doble: una mejor investigación y un notable avance hacia aquella instrucción de *élite* generalizada que la sociedad nos pedía.

Este proceso de integración indirecta podría tener otras ventajas. Por una parte favorece la movilidad, que no se da de modo natural en nuestro mundo académico por características sociales a las que será difícil substraerse; Weber se lamentaba de esa falta de movilidad en la misma Universidad alemana. En Estados Unidos, la movilidad, general a todos los niveles, es fruto del tamaño y del carácter mismo de su sociedad; Claude Allègre recordaba que allí descienden de aquellos que cruzaron el Atlántico, aquí descendemos de los que se quedaron. Por otra parte, creo que el flujo de investigadores experimentados desde Centros de investigación a Universidades, ciertamente difícil, flexibilizaría estructuras de poder, tanto en los centros de origen como en los de destino.

¿Hay que hacer investigación estratégica? Por estratégica se entiende investigación planificada, y orientada hacia fines sociales o aplicaciones comerciales. Los gobiernos buscan fórmulas para transferir a la economía los desarrollos tecnológicos realizados en universidades y centros públicos de investigación. En Estados Unidos, en los últimos 10 ó 15 años, los grandes laboratorios federales han ido a tumbos, empujados por la sociedad y su propia dialéctica interna a redefinir sus objetivos; primero fueron los estudios medioambientales, luego la colaboración con la industria, más tarde la función educativa... Por su parte

empresas como IBM, AT&T, las grandes compañías del petróleo, han desmantelado grupos de investigación básica para proseguir estudios más aplicados y guiados.⁴

Sugiero que no se espere inmediata recompensa tecnológica de una mayor inversión en investigación en España. Aunque raramente se recuerda, en los últimos cuatro o cinco siglos incurrimos en una inmensa deuda con la Ciencia y la Tecnología. Paradójicamente, esto tiene una ventaja. Un resultado directo y seguro de una mayor inversión —mayor y mejor investigación— bastaría para justificarla, saldando aquella deuda y barriendo cierta inseguridad que creo permea nuestra sociedad. Sin duda también habría un rédito tecnológico, pero no como resultado de planificar la investigación, algo que creo ineficaz. El problema de esa planificación es doble.

Por una parte, las aplicaciones prácticas de la ciencia básica son usualmente imposibles de predecir. En 1946, Isidor Rabi criticó a los políticos, «para los cuales el científico es como un mono amaestrado, que sube a cocoteros para bajar los mejores cocos».¹ Si Rabi hubiese esperado 15 años, su propio caso le hubiera servido para motivar su crítica; cuando inventó la técnica de resonancia magnética para analizar haces atómicos y moleculares, en los años 30, no podía prever su futura utilidad en el desarrollo del láser. Es posible e indispensable planificar experimentos concretos de ciencia básica, pero cuanto mayor planificación se precisa, mayor es la dificultad en prever aplicaciones; el caso extremo son los experimentos en grandes aceleradores de partículas. Cierta físico de partículas, afectado por la liquidación del proyecto de un acelerador en Texas, escribió irónicamente que las universidades, como los monasterios en la Edad Media —o cierta sociedad marginal en una historia de Ray Bradbury, *Farenheit 451*—, deben mantener viva la llama del saber durante la obscura noche de Investigación Estratégica que ahora nos envuelve.⁹

Por otra parte la investigación aplicada está llena de sorpresas. Muchos elementos fundamentales de la llamada Nueva Tecnología (teleco-

municaciones, ordenadores) no son resultado de investigación dirigida. Ciertamente no son resultado de estudios realizados en esta nuestra época de investigación estratégica; es Nueva Tecnología más bien vieja, como de medio siglo. El circuito integrado fue inventado en 1958 por alguien recién llegado a Texas Instruments. La fibra óptica fue inventada por un profesor de universidad en el 55. El transistor fue inventado en el 47 por tres investigadores de la Bell Telephone que tenían completa libertad para estudiar aquello que les interesase, y que no formaban equipo. En los laboratorios de IBM se trabajó clandestinamente en un temprano desarrollo sobre unidades de memoria, ignorando la firme advertencia gerencial de que había que abandonarlo.⁷

Geoffrey Taylor, uno de los grandes teórico-experimentalistas en Mecánica de Fluidos, afirmó que no es posible una estrategia a largo plazo promovida por consideraciones sociales; en Mecánica de Fluidos se avanza por medio de problemas limitados, que permiten verificación experimental o comparación con fenómenos naturales. En un homenaje recibido en 1996, David Montgomery, reputado especialista en plasmas, lamentó los imperativos extracientíficos que han guiado la Física de plasmas espaciales. Lo importante ha sido volar; misión tras misión se recogieron infinidad de datos sólo porque había oportunidad de volar. Muchos datos siguen por examinar; son series temporales definidas sobre trayectorias, y no sirven para una meteorología a gran escala del espacio exterior. En fusión termonuclear controlada se pagó un precio muy alto por la primera fase de secreto militar, agravada posteriormente por la imprudente insistencia en dirigir la actividad, «día a día», hacia el objetivo de un reactor comercial de fusión. Gobiernos y gerentes científicos han insistido en ilusorios escenarios de futuro, con largas cadenas de supuestos progresos que condujesen en cada estadio a una planta de producción de potencia acabada. En 1968, los máximos especialistas americanos regresaron de una reunión en Novosibirsk con expectativas muy optimistas sobre máquinas de fusión Tokamak. Eso fué hace un tercio de siglo.

Los gobiernos promueven leyes sobre patentes, empresas de capital riesgo, competitividad universitaria. Las universidades mismas nos alientan a fundar empresas, registrar patentes, en particular a establecer equipos de investigación grandes, que se suponen más efectivos; el argumento es el de una masa crítica necesaria para que una investigación tenga efectos. Creo, sin embargo, que la masa crítica no requiere un equipo grande sino múltiples equipos pequeños. En las universidades de Estados Unidos el equipo típico es un profesor y estudiantes graduados; hay colaboraciones temporales entre profesores, para proyectos específicos. Los equipos grandes, bien organizados, pueden obtener muchos fondos pero, en general, me parece que la rentabilidad –patentes, tesis, contribuciones a la literatura científica o técnica por unidad monetaria– es baja.

Creo que la concepción misma de la investigación estratégica (dirigismo y aplicaciones) se corresponde bien con un extremo del que ya les hablé: aquel creciente énfasis en la manipulación de algoritmos al enseñar la Ciencia y sus leyes técnicas. Paradójicamente, esa visión limitada del conocimiento concuerda con cierta pretensión actual de que está a nuestro alcance, en Física, una teoría definitiva de la Naturaleza. Presumiblemente, sería el final de la Ciencia.¹⁰ No habría sorpresas futuras; cualquier nuevo conocimiento sería, de algún modo, limitado; la Naturaleza no sería insondable. Aún obviando la cuestión de una total reducción del saber a la Física, creo muy razonable un prudente escepticismo respecto a una Teoría Final próxima. Déjenme señalarles algo:

En los versos 21-35 y 51-65 de su *Oda a Felipe Ruiz*, Fray Luis de León enumeró una serie de fenómenos de la Naturaleza que no pudo entender en su tiempo:

21 «...por qué tiembla la tierra;
por qué las hondas mares se embravecen,
dó sale a mover guerra

- el cierzo, y por qué crecen
las aguas del océano y descrecen;*
- 26 *de dó manan las fuentes;
quién ceba y quién bastece de los ríos
las perpetuas corrientes;
de los helados fríos
veré las causas, y de los estíos;*
- 31 *las soberanas aguas
del aire en la región quién las sostiene;
de los rayos las fraguas;
dó los tesoros tiene
de nieve Dios, y el trueno dónde viene...*
- 51 *...Y de allí levantado,
veré los movimientos celestiales,
ansí el arrebatado,
como los naturales;
las causas de los hados, las señales.*
- 56 *Quién rige las estrellas
veré, y quién las enciende con hermosas
y eficaces centellas;
por qué están las dos Osas
de bañarse en la mar siempre medrosas.*
- 61 *Veré este fuego eterno,
fuente de vida y luz, dó se mantiene
y por qué en el invierno
tan presuroso viene;
quién en las noches largas le detiene..."*

Todos los misterios que interesaban a Fray Luis de León ya han sido explicados. El ciclo hidrológico (versos 26-28) fue clarificado por un coetáneo suyo, Bernard Palissy; las mareas (versos 24 y 25) y el movimiento de cometas y planetas y lunas planetarias (versos 52-54), fueron explicados por Newton un siglo después. La estructura interna y el

—

origen nuclear de la energía de estrellas y Sol (versos 57-58, 61-62) pudieron finalmente establecerse en el siglo XX. Los diversos fenómenos meteorológicos citados en estas estrofas fueron progresivamente explicados como resultado de irradiación solar diferencial, la lentitud de los procesos térmicos frente a los mecánicos, el calor latente de los cambios de fase.

Como sabemos, sin embargo, en el estudio y explicación de estos fenómenos misteriosos surgió una ilimitada variedad de otros; muchos directamente relacionados con los que intrigaban a Fray Luis; unos aclarados, otros no. Hay múltiples ejemplos. Las mareas explicaron como se aleja nuestra Luna de la Tierra, pero la actividad volcánica de la luna Ío de Júpiter, y su plasma toroidal, también podrían resultar de fuerzas de marea gigantes debidas a lunas vecinas. Las fuerzas de marea crecerían sin límite en el colapso de un agujero negro. Plutón podría ser un cometa; el movimiento rotacional de la luna Hiperión de Saturno quizá sea caótico. Modelos de estructura estelar interna plantearían el problema de estrellas más viejas que el universo mismo.

El futuro acelerador del CERN en Ginebra buscará, de aquí a unos años, la partícula Higgs del Modelo Standard de partículas elementales. En ese acelerador se alcanzarían enormes energías por partícula, del orden de una millonésima de julio. Pero el Modelo Standard resulta enormemente pobre como teoría final. Para las partículas Higgs de las Teorías de Gran Unificación, que no incluyen la gravitación, haría falta un acelerador de energía mayor en un factor de un billón; para teorías de Super Unificación, con la gravitación incluida, caso de las teorías de supercuerdas, se necesitarían energías mayores en un factor de mil billones. Unos y otros experimentos parecen infinitamente lejanos, no próximos; parece irrazonable no esperar sorpresas mientras se busca eludir la necesidad de tales experimentos. Puede surgir conocimiento enteramente nuevo hasta en aquello que ya se conoce parcialmente: estabilidad del protón, monopolos magnéticos, materia oscura, constante cosmológica negativa, agujeros blancos, incluso las heterodoxas variables ocultas de la Física Cuántica.

Déjenme concluir enfatizando que en campos aplicados próximos a nosotros hay una miríada de oportunidades y misterios imprevisibles, que abarcan desde la exploración y la modificación del espacio exterior a la miniaturización de estructuras fluidas; ciertamente hay misterios y oportunidades en biofísica y bioingeniería. Como dijo Séneca hace casi veinte siglos, «La Naturaleza no descubre sus misterios de una sola vez... Muchos fenómenos desconocidos para nosotros los conocerá la gente del futuro...»

Eso es todo. Y recuerden lo que dije: Olviden lo dicho. Gracias por su atención.

NOTAS

1. G. Holton, *Physics Today*, Septiembre 1999, pp. 37-42.
2. R. P. Feynman, *The Pleasure of Finding Things Out*, Perseus Books, Cambridge-Massachusetts, 1999.
3. J. M. Roesset, *New Trends and Concerns in Engineering Education and Practice in the United States*, Academia de Ingeniería de España, Madrid, 1998.
4. L. P. Kadanoff, *Physics Today*, Diciembre 1999, pp. 11-13.
5. J. K. Fairbank, *Historia de China. Siglos XIX y XX*, Alianza Universidad, Madrid, 1986.
6. M. Weber, *La Ciencia como Profesión-La Política como Profesión*, Espasa Calpe, Madrid, 1992.
7. S. Klaw, *The New Brahmins. Scientific Life in America*, William Morrow, New York, 1968.
8. *L'Express*, 12 de Diciembre de 1998, pp. 28-29.
9. D. Mermin, *Physics Today*, Agosto 1999, pp. 11-13.
10. S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, Random House, New York, 1994.

RELACIÓN DE ALUMNOS QUE FINALIZARON
SUS ESTUDIOS DURANTE EL CURSO 1999-2000

PLAN 1974

D. Óscar Acedo Núñez
D. Amancio Agraz Gutiérrez
D. Carlos Aguado Pano
D. Juan Carlos del Álamo de Pedro
D. Raúl Alonso Sánchez
D. Ildefonso Alonso Ulloa
D. Alberto Álvarez López
D. Manuel Álvarez Méndez
D^a Ana Álvarez Muñoz
D. David Ambrona Villadangos
D. David Andrés Chignier
D. Antonio Antoranz Perales
D. Marino Araque García
D. Emilio Arenal Delgado
D^a Patricia Victoria Arraiza Ruiz
D. Joaquín Arjona García-Borreguero
D. Héctor Asensio Mateo
D^a M^a Magdalena Barranco Vara
D. Valentín Barrena Pérez
D. Juan Antonio Béjar Romero
D. Fernando Miguel Bibiloni Dols
D^a. África Blanco García
D. Pedro Blanco Núñez
D. Álvaro Blázquez López

D. Miguel Pedro Bolívar Montesa
D. David Cabo Guerrero
D. Luis Gregorio Cabrera Barba
D. Ernesto Calvo Baena
D. Damián Cambronero de Araujo
D. José David Cano Cediel
D. Jonatan Castaño González
D^a Nuria Castellanos Pérez de Arenaza
D^a Ana Belén del Cerro Gordo
D^a M^a Julia Cisneros Belmonte
D. Manuel Conde Ruiz
D^a Cristina Corrales López
D. Juan Cruz Franco
D. Ernesto Chaves Álvarez
D^a Inmaculada da Casa Martín
D. Francisco Javier Domínguez Melián
D. Diego Escorial Olmos
D. Felipe M. Escudero Rodríguez
D. Fernando Óscar Faura Palao
D. Fernando Feijoo García
D. Joaquín Fernández Casado
D. Diego Luis Fernández Melcón
D. David Ferro Romero
D. Óscar Franch Martínez
D^a Sara de la Fuente Franco
D. Juan Manuel Gallardo González
D. Francisco Javier García Alfaro
D. Alberto García Álvarez
D. Jesús García Baena

D. Sergio García Loyo
D^a Mónica García Medina
D. Antonio García Muñoz
D. Miguel Ángel García Vicente
D^a M^a de los Ángeles García-Cuevas Caballero
D. Ricardo García de la Calera Vizcaíno
D. Manuel García-Villalba Navaridas
D. Juan Manuel Garrido Moreno
D. Jesús Gil Fernández
D. David Gil Fresnillo
D. Enrique Gimeno Giménez
D. Enrique Gómez de las Heras Carbonell
D. Alfredo Gómez de Segura Remírez
D. Javier González Cantarell
D. Elpidio Rafael González Díaz
D. José Miguel González Montero
D^a Marta González de Pedro
D. José Agustín González Pérez
D. Alfredo González Ruiz
D. Sergio González Tejedor
D. Alejandro de las Heras Valiente
D. Francisco Manuel Hernández Amorós
D^a María Teresa Hernández Gamazo
D. Raúl Hernández Tabarnero
D. Francisco José Herrada Martín
D. Luis Herrero Alba
D. Miguel Ángel Herrero Matesanz
D. Francisco de Borja Ibarrondo Hernández
D. Manuel Alfredo Iglesias Paz

D^a María Jesús Jiménez Castellanos
D. Daniel Jiménez Hidalgo
D^a Noemi Jiménez Valdericeda
D^a Belén Linares Corell
D. Javier Linde Jiménez
D^a Gema Lite Turiel
D. José Luis Lorente Morales
D. Javier Joaquín Losada Vázquez
D. Alberto Lozano Sevilla
D. Raúl Francisco Luca Díaz
D. Manuel Lucas Sanz
D. Arturo Madrigal Ibarro
D. José Luis Maldonado Fernández-Roces
D. Alejandro José Manzano Carrero
D. Rubén Marcos Álvarez
D. José María Villasante
D. Alberto Martín Rodríguez
D^a Soledad Martín Hernández
D. Juan Francisco Martín-Albo Arévalo
D. Álvaro Martínez Barrio
D. Manuel Martínez Castro
D. Carlos Martínez García
D. César Martínez García
D^a Cristina Martínez Gómez
D^a Carmen Martínez Murillo
D^a Laura Mateos Buigues
D. Raúl Medina Caballero
D. Valentín Merino Villeneuve
D. José Luis de Miguel Cortés

D. Pablo Mirones Morales
D. Joaquín José Molina Burguera
D. José Ignacio Molina Vela
D. José Jacinto Monge Bravo
D. Jaime Moreno Alonso
D^a Nuria Moreno Benavides
D. Rafael Muga Corrales
D. César Nieto Sánchez
D^a. Susana Nogueira Pérez
D. Manuel Núñez Jiménez
D. José María Núñez Matas
D. Ignacio Javier Olavarrieta Román
D. Garikoitz Ortiz de Echeverría Díez
D. Francisco Javier Osman Hermida
D. Juan Manuel Pan Veiga
D^a Ana Irene Palma Ortega
D. Juan José Pastrana Bermejo
D. Juan Carlos Peg Ros
D. Óscar Pellicer Martínez
D. Cástor Ángel Peña Fernández
D. Álvaro Pérez Alcaide
D. Agustín Pérez Sanz
D^a Patricia Pina Calafí
D. Enrique Pintos Couto
D. Alejandro Piñeiro Moreno
D^a Sofía Ponce Borrero
D^a Ana María Postigo Amezua
D. Emilio Jesús Pozuelo Cabrera
D. José Carlos Presa Fernández

D Juan Tomás Prieto Padilla
D David Pulpon Bejas
D Emiliano Requena Esteban
D Miguel Reynes González
D José Alberto Rivas Ramírez
D Miguel Ángel Rocher Pastor
D Gonzalo Rodríguez Borobio
D Francisco Javier Rodríguez Rodríguez
D José Alberto Rojo Cañón
D Andrés María Romero Samper
D^a Yolanda Rubio Alonso
D^a María Pilar Ruiz Berdún
D Cristóbal Ruiz Sánchez
D Braulio Sabanego Maestro
D Alejandro Sáez Moreno
D Carlos Domingo San Martín Castaño
D Unai San Miguel Alzóniz
D Francisco José Sánchez Guzmán
D David Sánchez Martínez
D Francisco Sánchez Mouo
D^a María del Rocío Sánchez Pindado
D Adolfo Serrano González
D Ahmed Serroukh
D Scott Phillip Steinmetz Comunión
D Rubén Tejerina Hernanz
D Ángel Manuel Tolo del Valle
D Pedro Tortosa Méndez
D Ignacio Uriel Somme
D Sergio Valverde Pérez

D Juan Manuel Vázquez Tobal
D Miguel Ángel Vega Pachó
D Jorge Pablo Verde Preckler
D Guillermo Vich Garau
D Manuel Andrés Vidal González
D Joaquín Villa Martínez
D Daniel Felipe Villares Rexach
D^a Guadalupe Jadwiga Wojski Pérez
D José Zambriana González

PLAN 1995

D Juan Diego Alamillo Pastor
D Juan Carlos Álvarez Cañedo
D Teodoro Álvarez Fadón
D^a Leyre Armañanzas Albatzar
D. David Julián Benavente Sánchez
D Carlos Conal Van Damme
D Raúl Domínguez García
D^a Susana Durán Vizuite
D Alberto Fernández Conde
D Javier Gadea Esqueria
D Ángel Galán Herranz
D Gonzalo García-Atance Fatjó
D Álvaro García Ruiz
D. Antonio Garrido de Prado
D David Guerrero Estévez
D Francisco Gómez Casanova
D José Rubén Heras Rojas
D. Miguel Karl Hermanns Navarro

D. Antonio Leal Medina
D. Gabriel López Martínez
D. José Mariano López Urdiales
D. Miguel Luque Buzo
D. Fernando Mancebo Ordóñez
D. Juan Alberto Martínez García
D. Daniel Meizoso Latova
D. David Nieto Tuda
D. Eduardo Robledo Pascual
D^a M^a Ángeles Rubio Alfayate
D. José Manuel Sánchez Pérez
D^a Beatriz Santa Cruz Blanco
D. Manuel Torrealba Palacios
D. Pablo Valls Moldenhauer